6П

УДК 004.382

С.А. Поливцев, Е.С. Цыбульник
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины
г. Донецк, Украина
info@iai.donetsk.ua

Система бинаурального слуха робота

В статье предлагается вариант практической реализации системы бинаурального слуха, под которым понимается слух, присущий человеку и многим представителям животного мира. Многочисленные свойства бинауарального слуха реализуются путем операций над образами акустических сигналов, получаемых с массива микрофонов. Предлагается метод определения геометрических координат источника в пространстве по известным углам сдвига фаз звукового сигнала. Сдвиг фаз определяется для каждой пространственной координаты отдельной парой сенсоров. Показано, что принцип определения локализации источника по фазовому сдвигу позволяет определить положение источника с точностью до некоторой поверхности.

Введение

Под бинауральным слухом понимается система восприятия и анализа звуковых сигналов окружающей среды, подобная той, которой обладают люди и ряд животных. Принято считать, что система бинаурального слуха состоит из двух сенсоров (ушей) и системы обработки информации (головной мозг). Данная конфигурация системы позволяет человеку и животным ориентироваться в окружающем мире, общаться между собой, развиваться за счет обучения и самообучения.

Целью работы является разработка автономной системы бинаурального слуха и реализация ее в виде отдельного устройства для применения в робототехнических системах и других областях искусственного интеллекта.

Более конкретно рассмотрим робототехническую систему (РТС), оснащенную сенсорами различной физической природы и смонтированную на подвижной платформе, позволяющей проникать в труднодоступные места [1]. Одной из задач РТС является проведение разведки в местах природных и техногенных катастроф с целью обнаружения живых людей, подающих какие-либо признаки жизни. В частности, для этой цели используются микрофоны звукового диапазона (300 – 5000 Гц). Работая с сигналами звукового диапазона, можно решить следующие задачи: определить число источников, определить направления на источники (локация источников), определить природу источника (живой или неживой природы). Имеется множество моделей распространения звука и множество практических реализаций систем локации звука.

В частности, известная трехмерная модель распространения звуковой волны в однородной воздушной среде, находящейся в состоянии покоя и не имеющей резонаторов и ревербераторов, для одного неподвижного источника, создающего звуковое давление p, и скоростей распространения волны u, v и w по координатам x, y, z с плотностью воздуха ρ и эластичность воздуха k имеет вид:

$$\rho\frac{du}{dt}+\frac{dp}{dx}=0; \tag{1}$$

$$\rho\frac{dv}{dt}+\frac{dp}{dy}=0; \tag{2}$$

$$\rho\frac{dw}{dt}+\frac{dp}{dz}=0; \tag{3}$$

$$\frac{dp}{dt}+k\left(\frac{du}{dx}+\frac{dv}{dy}+\frac{dw}{dz}\right)=0\ . \tag{4}$$

При этом явно предполагается, что источник и приемник(и) имеют вид точки. Известна [2] и модель пеленгации источника с помощью двух сенсоров, которую геометрически можно интерпретировать схемой как на рис. 1.

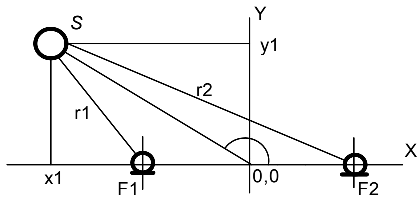


Рисунок 1 – Геометрическая схема модели пеленгации источника

Решение задачи пеленгации сводится к определению расстояний между источником и сенсорами (микрофонами), что эквивалентно измерению разности фаз сигналов на выходе сенсоров для каждого из источников. Общая задача разделяется на ряд подзадач, а именно – разделение сигналов по частотным полосам, определение принадлежности сигналов источникам, фазовые измерения. Пример решения – [3], [4].

Геометрическая модель, показанная на рис. 1, имеет несколько упрощенный вид. Дело в том, что угол между осью ОХ в точке с координатами 0,0 и вектором, направленным на источник, вычисляется по результатам фазовых измерений сигналов на выходах сенсоров F1, F2. Но робот, его система бинаурального слуха и источники находятся в трехмерном мире. Из этого факта следует, что геометрическую схему, подобную показанной на рис. 1, следует расширить до трех осей, что и делает большинство исследователей. Но при этом не раскрывается математический аппарат для определения области нахождения источников.

Авторы данной статьи предлагают свою концепцию определения области нахождения источников в трехмерной системе координат с использованием системы из четырех микрофонов, разнесенных в пространстве.

1. Пеленгация источника

Обращаясь к схеме на рис. 1, можно видеть, что если расстояние x_{12} между сенсорами $F1$ и $F2$ фиксировано, то для всех частот звукового диапазона f можно вычислить разность фаз:

$$\Delta\varphi = (\varphi 1 - \varphi 2) = F_3\{ x_{12}, f, (x_1, y_1)\}. \quad (5)$$

Разумеется, пару координат (x_1, y_1) можно представить как функцию разницы расстояний от источника S до сенсоров $F1$, $F2$ или как угол между источником и осью – X, X. Из этой модели сразу видна неоднозначность решений – при одном и том же значении частоты имеется минимум четыре варианта правильных решений, каждый из которых лежит в одной из четвертей XOY декартовых координат. Но и эти четыре варианта не являются единственным множеством решений. Полное множество пространственных решений – это два конуса, имеющих одну общую точку в вершинах и один и тот же угол развертки вдоль своей оси, совпадающей с осью – XOX – рис. 2.

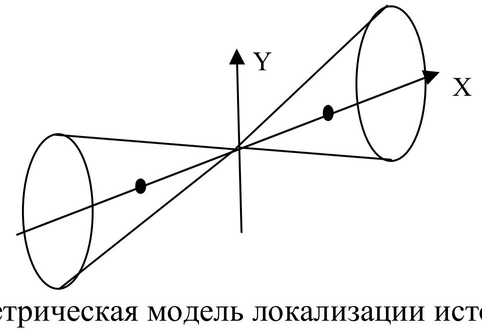


Рисунок 2 – Геометрическая модель локализации источника в пространстве

Из этой модели следует, что одному беззнаковому значению угла разности фаз для пары сенсоров и фиксированному расстоянию источника сигнала от сенсоров в пространстве соответствует множество положений источника на каждой из окружностей оснований конусов, построенных с углом развертки, равным углу разности фаз, и длиной образующей, равной расстоянию от источника до средней точки, лежащей на средине линии, соединяющей сенсоры. В работе [5] предлагалось разместить сенсоры робота следующим образом – рис. 3. Также предлагалось находить угол сдвига фаз для каждой пары сенсоров, лежащих на одной оси – $(F_0 + F_x)$, $(F_0 + F_y)$, $(F_0 + F_z)$.

Но определение сдвига фаз для каждой из пар сенсоров производится независимо друг от друга и, следовательно, каждый угол сдвига фаз порождает пару конусов на каждой из осей координат. Совершенно логичным будет утверждение, что для двух осей (например, OX, OY рис. 3) источник сигналов лежит на общей линии, принадлежащей паре конусов одновременно.

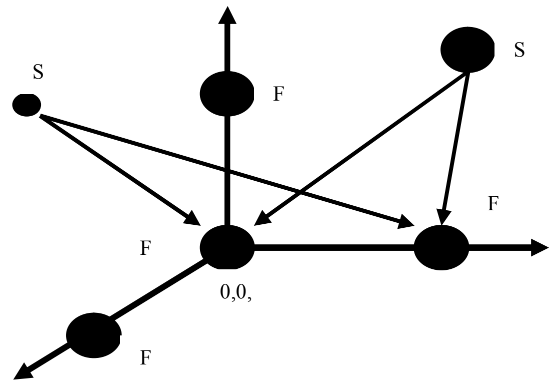


Рисунок 3 – Размещение сенсоров в пространстве

Эта линия есть не что иное как линия пересечения поверхностей двух конусов. Продолжая эти в общем тривиальные рассуждения для случая трех осей, можно прийти к выводу, что источник сигналов находится на поверхности, ограниченной линиями пересечения трех конусов.

Из этого следует, что сколь угодно точное определение сдвига фаз звуковых сигналов для множества сенсоров в пространстве совершенно не означает однозначного определения положения источника звуковых сигналов в пространстве. Практически важно выяснить факторы, влияющие на неоднозначность определения положения источника сигналов, и получить конкретные требования к массиву сенсоров и системе обработки сигналов с них.

2. Определение общих областей

В геометрии имеется достаточно развитый математический аппарат нахождения области пересечений различных пространственных фигур, каждая из которых описана системой уравнений непрерывных линий. Эти решения носят абсолютно точный характер и могут быть использованы для данного случая. Однако эти решения требуют нетривиальных вычислительных ресурсов. В то же время система бинаурального слуха робота ориентирована на работу в конкретных ограничениях, в частности: расстояние от робота до источника находится в пределах 0,5 … 5 м, источник звука имеет размеры не менее 50 мм, сенсоры расположены на расстоянии 150 мм друг от друга строго по осям. Из этих ограничений следует, что находить координаты источника с точностью менее 25 мм по любому направлению не имеет практического смысла. Соответственно задачу Пересечения поверхностей можно свести к задаче пересечения множества линий. То есть предлагается после нахождения угла сдвига фаз принимать длину образующей поверхности конуса = 5 м, вычислять окружность основания конуса и разбить его на отрезки длиной 25 мм. Затем вычисляются координаты отрезков линий, проведенных из верши-

ны конуса к началу каждого из отрезков в основании конуса. Таким образом строится множество линий для каждого из конусов. Далее решается тривиальная задача определения координат общих точек для всех возможных пар линий различных конусов.

Разумеется, решение задачи пересечения множества прямых можно разбить на ряд подзадач, а множества прямых на подмножества, чем существенно уменьшить требования к вычислительной мощности системы, реализующей решение этой задачи.

Собственно способ нахождения точки пересечения двух отрезков прямых в пространстве тривиален и нет смысла его приводить в статье. Результатом решения этой задачи будет множество точек, которые описывают некоторую криволинейную поверхность, в каждой точке из которой может находиться источник звукового сигнала.

Заключение

Результаты моделирования на ЭВМ предложенного метода локализации источника звукового сигнала в рамках системы бинаурального слуха робота показали работоспособность метода локализации по всем направлениям в пространстве, включая и случаи, когда источник сигнала находится точно на одной из осей. Наименьший размер области положения источника и, следовательно, наиболее точное определение положения источника достигается в случае, когда значение угла сдвига фаз для всех трех пар сенсоров одинаково. Геометрически это соответствует размещению источника на одной из восьми линий, проведенных из центра координат системы звуковых сенсоров и равноудаленных от осей координат.

Литература

1. Поливцев С.А. Патент Украины № 75991. Шагающий механизм малогабаритного робота / С.А. Поливцев, А.И. Шевченко. – Выдан 15.06.2006.
2. Понтрягин Л.С. Метод координат / Понтрягин Л.С. – Москва, Россия, УРСС, 2004. – 135 с.
3. Yoshifumi Chisaki. Azimuthal and elevation localization of two sound sources using interaural phase and level differences / Yoshifumi Chisaki1, Sho Kawano, Kyoko Nagata, Kotaro Matsuo, Hidetoshi Nakashima and Tsuyoshi Usagawa // Acoust. Sci. & Tech. – 29, 2 (2008).
4. Post Filter for Microphone Array. Inventor: Akagi Masato (JP); Li Junfeng (JP); (+2) Applicant: Japan Advanced inst of Science (JP); Toyota Motor CO LTD (JP). Publication info: EP1931169-2008-06-11.
5. Поливцев С.А. Многопроцессорная система реализации бинаурального слуха с массивом микрофонов / С.А. Поливцев // Искусственный интеллект. – 2009. – № 1. – С. 293-299.
6. Поливцев С.А. Метод полупериодного анализа для массива микрофонов / С.А. Поливцев, В.В. Кобыляков // Искусственный интеллект. – 2006. – № 4. – С. 787-795.

С.О. Полівцев, Є.С. Цибульник

Система бінаурального слуху робота

У статті пропонується варіант практичної реалізації бінаурального слуху, під яким розуміється слух, що властивий людині та багатьом представникам тваринного світу. Багаточисельні якості бінаурального слуху реалізуються шляхом операцій над образами акустичних сигналів, що отримуються з масиву мікрофонів. Проронується метод визначення геометричних координат джерела у просторі за відомими кутами зсуву фаз звукового сигналу. Зсув фаз визначається для кожної просторової координати окремою парою сенсорів. Наочно наведено, що принцип локалізації джерела за фазовими зсувами дозволяє визначити положення джерела з точністю до деякої поверхні.

S. Polivtsev, H. Tsybulnik

System Binaural Hearing of the Robot

In article the variant of practical realization of system binaural hearing which is understood as hearing inherent in the person and many representatives of fauna is offered. Numerous properties binaural hearing are realized by operations above images of the acoustic signals received from a array of microphones. The method of definition of geometrical coordinates of a source in space on known is offered to corners of shift of phases of a sound signal. Shift of phases is determined for each spatial coordinate in separate pair sensor controls. It is shown, that the principle of definition of localization of a source on phase shift allows to determine position of a source about accuracy up to some surface.

Статья поступила в редакцию 03.07.2009.